

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA E QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE PROCESSAMENTO DE POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO ON-LINE: TÉCNICAS E EVIDÊNCIAS

Lucas Daniel Noronha Ferreira¹

Mozart dos Santos Silva²

Mayara Cobacho Ortega Caldeira³

Carlos Rodrigo Tanajura Caldeira⁴

1. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (lucasnoronha019@gmail.com)
2. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (mozartsilva@hotmail.com)
3. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (mayarac.ortega@gmail.com)
4. Universidade Federal Rural da Amazônia - Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - ICIBE, Belém/PA (caldeiract@gmail.com)

ABSTRACT

In the context in which the positioning methods are related, the highlight in recent years by the scientific community regarding Positioning by Precise Point (PPP) brought to light an elaboration of analyzes that started to structure comparisons based on evidence based on viability offered in its resources. Although the technique of relative positioning is still the most common way of determining data, the present work brings an approach to assess the accuracy of data taken from a relationship of Positioning by Precise Point online using as parameter the information collected from station of the Brazilian Network for Continuous Monitoring (RBMC) allied to the Presidente Prudente base (PPTE), in addition to using free online positioning services. In view of the results obtained, it is possible to compare discrepancies taken from each analysis due to the use of solutions in ephemeris, clock corrections and modeling of phenomena in order to attribute the best answer. In this way, a correlation was obtained from these observations which were analyzed by illustrations that would allow the visualization of these results by PPP online.

Keywords: Positioning Methods, Comparisons; Solutions.

INTRODUÇÃO

O posicionamento absoluto, também denominado Posicionamento por Ponto (PP), refere-se à obtenção da posição em tempo real de uma estação com base em observações de pseudodistância derivada do código civil C/A modulado na fase da onda portadora L1 (MONICO, 2008). Neste posicionamento, necessita-se apenas de um receptor, e a posição é determinada no referencial vinculado ao sistema que está sendo utilizado, por exemplo, no caso do GPS (*Global Positioning System*) utiliza-se o WGS84 (SEEBER, 2003; MARQUES, 2012).

Este método de posicionamento tem sido empregado em navegação de baixa precisão e em levantamentos expeditos. Monico (2008) destaca que mesmo se a coleta de dados, sobre um ponto estacionário, fosse de longa duração, a qualidade dos

resultados não melhoraria de modo significativo, em razão dos vários erros sistemáticos envolvidos na observável utilizada (pseudodistância) e a acurácia dos parâmetros transmitidos na mensagem de navegação. Acrescenta-se, a esses erros, aqueles advindos da refração troposférica e ionosférica e multicaminho do sinal, entre outros.

Para os casos em que não há necessidade de posicionamento em tempo real, ou seja, no caso em que as observações podem ser pós-processadas, é possível empregar o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), o qual utiliza as efemérides precisas e as correções do relógio dos satélites estimadas pelo IGS (*International GNSS Service*), além de modelos para vários fenômenos físicos que afetam as observações de modo a obter soluções acuradas ao nível de poucos centímetros (ALVES; MONICO; ROMÃO, 2011).

Marques (2012) afirma que no PPP, quando os erros forem adequadamente tratados e/ou modelados e se for usado um período longo de observações de receptores de dupla frequência, pode-se apresentar grande potencialidade para ser empregado em aplicações que exigem alta acurácia.

Segundo o que aborda Almeida e Dal Poz (2016), nos últimos anos estão sendo disponibilizados os serviços de processamento de dados GNSS, denominados de PPP *online*, como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), CSRS (*Canadian Spatial Reference System*), APPS (*Automatic Precise Positioning Service*), MAGIC, entre outro. Neste tipo de serviço, um arquivo de dados no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) ou Hatanaka, é enviado por meio da página via *web* do serviço oferecido. Quando o processamento é completado, os resultados são enviados para o usuário através do endereço eletrônico informado ou para baixar da própria página (ALVES *et al*, 2010).

Estes serviços *online* ganham cada vez mais destaque dentro da geodesia devido à praticidade de serviços e, sobretudo, dos resultados precisos que são ofertados. Deste modo, cada vez mais vem aumentando o número de usuários que os utiliza nas mais diversas aplicações. Neste sentido, este presente trabalho prático tem o enfoque de avaliar a acurácia e comparar a qualidade dos serviços de processamento de posicionamento por ponto preciso on-line disponíveis.

POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO ON-LINE

A evolução da tecnologia GNSS, possibilitou que a quantidade de dados para processamento aumentasse, resultando no aparecimento de serviços específicos de processamento de dados. A partir disso, com o intuito de facilitar o processamento dos dados, algumas agências e instituições passaram a oferecer gratuitamente

serviços de processamento on-line, via internet. A disponibilização via internet dos serviços de processamento do PPP faz com que esse método, que pode fornecer soluções para os mais diversos problemas geodésicos, chegue ao alcance da comunidade em geral e possibilite o avanço de estudos com o uso de dados e informações.

Além disso, dependendo do serviço utilizado, é necessário que o usuário forneça informações como tipo e altura da antena, se o posicionamento é estático ou cinemático; isso se essas necessárias observações não estiverem contidas no cabeçalho do arquivo de dados. Apresenta-se, nesse contexto, uma breve descrição de vários dos serviços disponíveis atualmente em tópicos seguintes para elucidar o uso dessas técnicas e suas aplicações.

APPS - JPL

O serviço APPS do JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) faz uso dos produtos diários das órbitas e correções dos relógios JPL mais acurados disponíveis no momento em que os dados forem submetidos ao serviço PPP. Para receptores de frequência única, o APPS aplica correções ionosféricas baseadas em mapas globais (*Global Ionospheric Map - GIM*) de dados ionosféricos JPL.

Pontua-se, ademais, que o serviço oferece ao usuário uma opção para anexar um modelo de pressão, o qual é convertido internamente para valores de atraso hidrostático e usados na modelagem do atraso troposférico. Se o usuário optar por não enviar modelo de pressão, passa a ser utilizado o modelo de atraso troposférico com base na altitude do receptor (JPL, 2007).

É importante frisar que os dados podem ser processados no modo estático ou cinemático utilizando dados de receptores de uma ou duas frequências. O ângulo de corte de elevação é o especificado pelo usuário, assim como o intervalo de tempo de gravação de dados, o qual é disponível a partir de 1s. No entanto, o usuário deve efetuar seu cadastro no sistema. Tais opções podem utilizadas sem dificuldade através da página na internet <https://apps.gdgps.net/apps_file_upload.php> conforme visto na Figura 1.

APPS Options	
Processing Mode	<input checked="" type="radio"/> Static <input type="radio"/> Kinematic
Measurement Type	<input type="radio"/> Single Frequency <input checked="" type="radio"/> Dual Frequency
Orbits/Clocks used	JPL Final: Data prior to 2020-07-11 JPL Rapid: Data from 2020-07-11 to 2020-07-16 JPL Ultra R/T: Data from 2020-07-16 to present
L1 Code	<input type="radio"/> CA Code <input checked="" type="radio"/> P Code
Model Pressure Data?	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Elevation Dependent Data Weighting	<input checked="" type="radio"/> Flat <input type="radio"/> Sin <input type="radio"/> Sqrt(sin)
Advanced Options	<input type="text" value="7.5"/> <i>Elevation Angle Cutoff</i> <input type="text" value="300"/> <i>Solution Output Rate (seconds)</i>

Figura 1. Layout do serviço on-line APPS do JPL

Atém-se que também é disponibilizado ao usuário, através de um link na própria página do serviço, um resumo do processamento contendo coordenadas cartesianas e elipsoidais com suas respectivas precisões e arquivos contendo as séries cronológicas para todos os parâmetros estimados com os seus erros formais, os parâmetros estimados e covariâncias.

PPP - IGBE

O serviço IBGE-PPP além dos formatos RINEX e Hatanaka, também oferece a possibilidade de uso de vários formatos de compressão, tais como gzip, zip, compressão unix e tarzip.

O processamento pode ser no modo estático ou cinemático com receptores de uma ou duas frequências. O ângulo de corte de elevação é padrão de 10 graus e utiliza o mesmo intervalo de tempo de gravação de dados do arquivo de entrada. São usados no processamento os produtos IGS mais acurados disponíveis no momento em que os dados forem submetidos ao PPP. A fonte das correções ionosféricas selecionadas para o processamento com receptores de uma frequência são os mapas ionosféricos globais combinados produzidos a intervalos de 2 horas (IBGE, 2017).

Além disso, utiliza-se de um modelo troposférico fixo em conjunto com as medidas meteorológicas padrão e uma função de mapeamento para corrigir o atraso troposférico ao longo do caminho do sinal (IBGE, 2017).

Nota-se que seu layout é simples, o qual – dessa forma, proporciona uma visualização e entendimento rápido de como funciona o serviço, conforme visto na Figura 2. O serviço é gratuito, exigindo apenas que o usuário informe o e-mail.

Selecione o Modo de Processamento: Estático Cinemático

Selecione um arquivo RINEX: Só serão aceitos arquivos no formato .05o a .20o, .05O a .20O, .05d a .20d, .05D a .20D, .obs, .OBS, .zip, .ZIP, .tar, .TAR, .tgz, .TGZ, .gz, .GZ, .rx, .RX, .crx, .CRX, .7z, .7Z

Escolher arquivo Nenhum arquivo selecionado

Os valores selecionados abaixo serão adotados para todos os RINEX que estejam comprimidos em um único arquivo:

Tipo de Antena:

Altura da antena (m):

A altura da antena somente será alterada se esta caixa estiver marcada.

E-mail válido do usuário. (não pode conter espaços ou tabs!):

Concordo que os resultados dos processamentos poderão ser utilizados pelo IBGE para a avaliação de produtos e informações cartográficas e geodésicas, bem como para a avaliação do próprio serviço IBGE-PPP

Figura 2. Layout do serviço on-line PPP-IBGE

Desse modo, ao final do processamento, é gerado um relatório detalhado do resultado através de um link na própria página do serviço, o qual contém arquivos a respeito de as coordenadas cartesianas e elipsoidais e com suas precisões nos referenciais SIRGAS2000 e ITRF2008, arquivos contendo uma estimativa das coordenadas época por época, ao longo do tempo de rastreamento e um arquivo de visualização na plataforma do Google Earth.

MAGIC

Para ter acesso a esse serviço é necessário, assim como os demais já apresentados, realizar o cadastro. Ele dispõe de uma versão gratuita via e-mail <magicppp@gmv.com>, a qual foi utilizada neste presente trabalho, e uma versão paga pelo usuário onde oferece ferramentas para facilitar as aplicações profissionais. É um tipo de processamento que vincula dados decorrentes a levantamento estáticos e cinemático, e – além disso, processa dados GPS/GLONASS, somente GPS ou somente GLONASS.

Para tal execução, é necessário informar no título do e-mail o modo de processamento Static/Kinematic e o índice correspondente M (GPS+GLONASS), G (Somente GPS) ou R (Somente GLONASS). Essa metodologia orienta para o processo de dados.

Somando-se a isso, o intervalo de tempo de gravação de dados vai de 30 segundos até 1 segundo e o ângulo de corte de elevação de 10 a 30 graus. As órbitas e correções para os relógios dos satélites são fixados de maneira global nos melhores produtos disponíveis do IGS.

Como resultado desse processamento, tem-se um relatório gráfico, arquivos com coordenadas cartesianas referenciadas ao ITRF2014, correções dos relógios do receptor da estação e estimativa do atraso zenital troposférico. Esses arquivos são

disponibilizados através de um link via e-mail, o qual é disponibilizado tão logo que o tratamento dos dados é finalizado.

CSRS – PPP

O serviço CSRS – PPP realiza o pós-processamento de dados resultantes de levantamentos estáticos ou cinemáticos a partir de receptores de simples ou dupla frequência. O tratamento dos dados segue os dos demais serviços, pois é baseado nas soluções globais, órbitas precisas e produtos dos relógios dos satélites, os quais são fornecidos pelo IGS.

Além disso, a fonte de correções ionosféricas para o tratamento de observações de receptores com apenas L1 são as globais, mapas ionosféricos produzidos em intervalos de 2 horas. Quanto ao atraso troposférico na portadora L1, usa-se um modelo troposférico juntamente com os dados meteorológicos padrão e uma função de mapeamento de elevação para corrigir o atraso. Na solução L1 e L2 (código e fase), ocorrem estimativas do atraso zenital total (NRCAN, 2007).

Dado a isso, o serviço se mostrou de fácil acesso e agilidade no processamento (Figura 3). Os resultados são fornecidos nos referenciais ITRF2014 e NAD-83 (*North American Datum* of 1983) e só podem ser acessados por meio do endereço eletrônico informado. Desse modo, são disponibilizados aos usuários arquivos contendo informações detalhadas sobre o processamento realizado e um relatório final com as coordenadas cartesianas e elipsoidais estimadas e suas precisões.

The image shows a web form titled "Processing mode". It has two radio buttons: "Static" (selected) and "Kinematic". Below these are two buttons: "NAD83" and "ITRF". A note states: "• The epoch will be the same as the GPS data. • A UTM zone will be calculated from the longitude." Under "Vertical datum", there is a dropdown menu showing "CGVD2013". A checkbox asks "Contribute to passive control maintenance? (What is this?)" with the text "Authorize the Canadian Geodetic Survey (CGS) to archive and publish CSRS-PPP submission and solution". Below that is a text input field for "Official marker station name". A "More options" link is visible. At the bottom, it says "RINEX observation file(s), 300 MB max (.zip, .gzip, .gz, .Z, .tar, .???)". A note says "Note: You may submit multiple RINEX files in a single .zip or .tar archive". There is a file selection button labeled "Escolher arquivo" and a status "Nenhum arquivo selecionado". A "Submit to PPP" button is at the bottom.

Figura 3. Layout do serviço on-line CSRS – PPP

METODOLOGIA

Em caráter metodológico, foi utilizado no presente trabalho de dados GPS referentes à estação Presidente Prudente (PPTE), da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

do Sistema GNSS (RBMC) do dia 25 de outubro de 2014. É válido ressaltar que a estação está localizada na região das latitudes baixas, com maior influência ionosférica, devido a anomalia equatorial e bolhas ionosféricas, além disso, o dia de estudo apresenta alta densidade de elétrons o que interfere na performance do posicionamento.

O arquivo contém dados de 24 horas de coleta, no entanto, para analisar a estabilidade e convergência dos resultados, foi dividido em arquivos de 30 minutos, 1, 2, 4, e 6 horas, onde essa manipulação foi realizada por meio do aplicativo TEQC (*Translate/Edit/Quality Check*). Posteriormente, os 6 arquivos foram processados pelos serviços avaliados.

Frente a isso, neste trabalho participaram de quatro serviços de posicionamento por ponto preciso on-line, todos gratuitos como apresentados a seguir:

- APPS do JPL/NASA;
- IBGE-PPP que faz uso do aplicativo de processamento GPS-PPP desenvolvido pela NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canadá*);
- CSRS – PPP desenvolvido pela NRCan;
- MAGIC GNSS desenvolvido pela *GMV Aerospace and Defense S.A.*

Em virtude da qualidade do PPP on-line, pode-se analisar o comportamento das coordenadas em relação ao tempo de observação, ou seja, com quanto tempo elas passam a ser estáveis. As coordenadas resultantes dos processamentos on-line foram comparadas às conhecidas da Estação PPTTE usadas como referência, obtendo-se as discrepâncias entre elas. Para isso, as informações coordenadas precisavam estar no mesmo referencial e época, a qual – deste modo, foi utilizado o aplicativo TREVel (PROL *et al.*, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base disso, as Figuras 4 e 5 mostram, respectivamente, as precisões e as discrepâncias entre as coordenadas cartesianas (X, Y, Z) obtidas nos serviços de processamentos *online* para 30 minutos, 1, 2, 4, 6 e 24 horas de observação. Vale ressaltar que a análise das discrepâncias entre as coordenadas geográficas (latitude e longitude) não foi realizada neste trabalho, haja visto que nem todos os centros disponibilizam a coordenada geográfica estimada e o desvio padrão.

Ressalta-se, ainda, que o serviço Magic não disponibiliza a precisão do processamento dos dados no seu relatório final de processamento, por isso não conta do valor do desvio padrão na Figura 4.

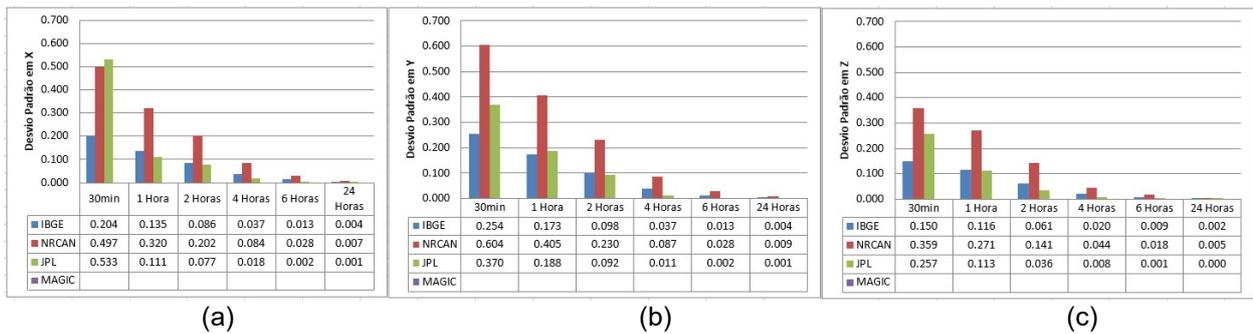


Figura 4: Precisão das Coordenadas em X (a), Y (b) e Z (c)

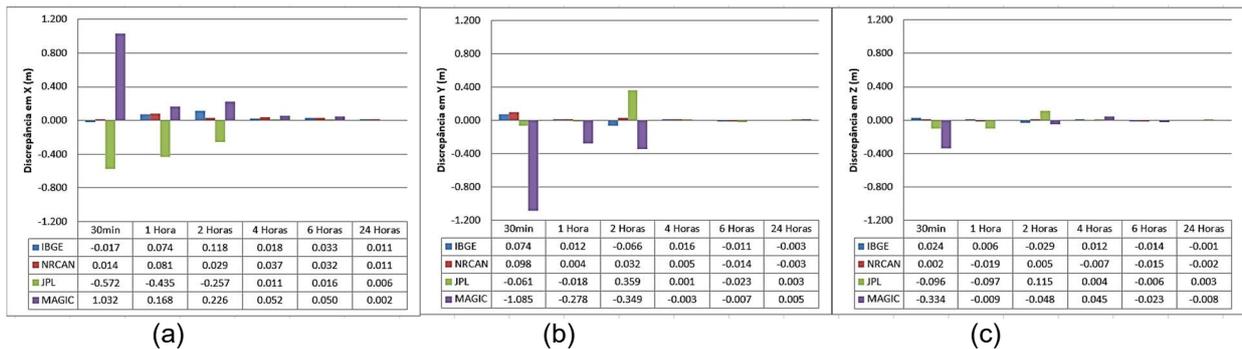


Figura 5: Discrepância em metros em X (a), Y (b) e Z (c)

Além disso, para analisar os resultados advindos do posicionamento por ponto, foram calculados para cada centro PPP *online* os valores do erro médio quadrático (EMQ), o qual indica a dispersão da posição estimada para uma época qualquer de observação com relação à posição de referência da estação PPTe. Ou seja, representa a acurácia da posição estimada. Deste modo, o gráfico da Figura 6, apresentam o EMQ tridimensional (EMQ 3D).

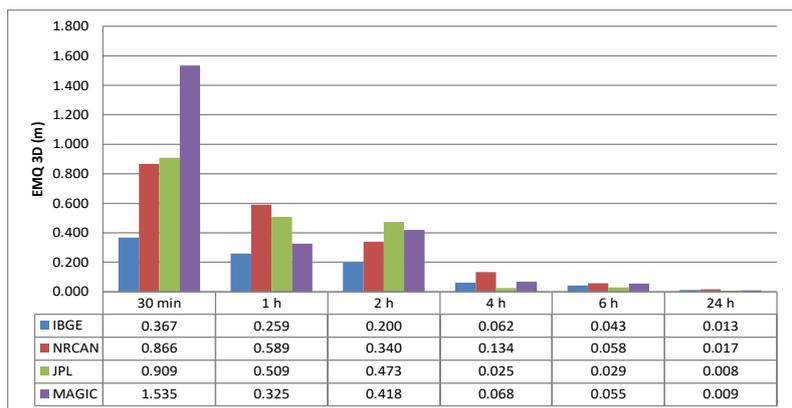


Figura 6: Distribuição do EMQ tridimensional

A partir dos resultados obtidos do processamento dos dados da estação PPTe pelos serviços de PPP on-line, percebe-se que as coordenadas passam a se estabilizar após as 6 horas de observação, com discrepâncias média de 2 cm em X, 1 cm em Y e 3 cm para Z.

No entanto, vale ressaltar que não foi explorado todas as opções que este serviço oferece (correções, modelos, etc.), sendo apenas testada a configuração que melhor assemelhasse com os demais serviços.

O serviço JPL chegou a apresentar discrepâncias quase nulas para as três coordenadas após o tempo de estabilização, sendo o que obteve o melhor resultado (menor EMQ) na ordem de 2.5cm, 2.8cm e 7.6 mm para observação de 4, 6 e 24 horas, respectivamente. No entanto, o serviço do IBGE quando considerado para observações menores, apresentou melhor resultado que os demais.

Além disso, a precisão alcançada a partir os dados processados pelos serviços de PPP on-line foi de uma ordem quase métrica para 30 minutos de observação, centimétrica para as primeiras horas observação e de poucos centímetros para 24 horas de observação.

CONCLUSÕES

Desta forma, os resultados mostram que o PPP na forma on-line pode ser utilizado para diversas aplicações dentro dos limites de acurácia proporcionada pelo mesmo e a necessidade da aplicação a ser realizada. Além disso, a partir do avanço das convenções destes métodos, a multifuncionalidade dessas aplicações espelha contribuições para outras vertentes.

A facilidade inerente a este método, atualmente, relaciona-se com áreas que englobam georreferenciamento – sendo neste processo já reconhecido pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) para estas delimitações de imóveis rurais, assim como a materialização de redes geodésicas, determinação de estações de referência, pontos de apoio/base e dentre outras aplicabilidades que estejam correlacionadas com as observações dos parâmetros adotados pelo PPP, independente do dia e local.

Deste contexto, observa-se a viabilização de dados baseados em órbitas e satélites que, quando processados pelo PPP, determinam benefícios diretamente relacionados com a sessão da observação. A partir disso, vê-se que o uso do método de PPP on-line traz técnicas e evidências com significativa validação de resultados a depender de algumas variáveis, como o tempo de observação/coleta.

Outro fator importante a citar é a existência de outras alternativas que não foram analisadas neste trabalho que realizam PPP. O Grupo de Estudo de Geodésia Espacial (GEGE) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) disponibiliza o *software* RT_PPP permite processar observações de código e fase e dispões de várias opções de processamento o PPP do GEGE; tem-se também o *software* RTKLIB, dentre outros.

Porém, há de se considerar que estas plataformas ainda são pouco difundidas e também precisam, ademais, de extensões, aplicativos ou *softwares* que possam empregar a nova constelação de satélites chineses (BEIDOU) e europeu (GALILEU) para que viabilizem maior disponibilidade e redundância de observações.

Além disso, nota-se em muitos esforços da comunidade científica para aprimorar a estrutura para a realização do PPP em tempo real, como o Projeto Piloto do IGS (*IGS-RTPP Pilot Project*), Projeto GNSS em tempo real da EUREF (*European Reference*), entre outros. Além disso, existem várias localidades ao redor do mundo (*mountpoints*) transmitindo correções de órbitas e relógios dos satélites em tempo real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. Posicionamento por Ponto Preciso e Posicionamento Relativo: Qual é o método mais acurado atualmente?. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba-PR, v.22, n.1., p. 175 – 195, jan-mar, 2016. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000100010>>

ALVES, C.M.D.; ROMÃO, V.M.C.; MONICO, J.F.G.; GARNÉS, S.J.A. Avaliação da Qualidade do Posicionamento por Ponto preciso na Sua Forma On-Line. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 2010.

ALVES, C. M. D.; MONICO, J. F. G.; ROMÃO, V. M. C. ANÁLISE DA ACURÁCIA NO PPP A PARTIR DA SOLUÇÃO DE AMBIGUIDADES GPS EM CURTOS PERÍODOS DE OCUPAÇÃO. Revista Brasileira de Cartografia, v. 63, 11. Disponível: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43755/23019>>

FAUSTINO, R. C. Posicionamento por Ponto Preciso Estático e Cinemático: Implementação e Análise. 2006. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista – UNESP). Presidente Prudente, São Paulo. Disponível: <http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d_faustino_rc.pdf >

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). 2017. IBGE-PPP Posicionamento por Ponto Preciso on-line. Diretoria de Geociências. Coordenação de Geodésia. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101677.pdf>>. Acesso: 25 julho 2020.

JPL (Jet Propulsion Laboratory)/NASA. 2009. APPS Automatic Precise Positioning Service. California Institute of Technology. Disponível em: <<http://apps.gdgps.net/>>.

MARQUES, H. A. PPP em tempo real com estimativa das correções dos relógios dos satélites no contexto de rede GNSS. 2012. 245f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

NRCAN (NATURAL RESOURCE CANADA). 2007. CSRS-PPP an online Global GPS Processing Service. Canadian Spatial Reference System, Geodetic Survey Canada. Disponível em: <<https://www.unavco.org/projects/project-support/polar/support/PPP.pdf> > Acesso: 30 junho 2020.

PROL, F. S.; MARCATO JUNIOR, J.; NIEVINSK, F. G.; GOMES, R. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Transformação entre referenciais e cálculo de velocidades através do aplicativo web TREVel. Revista Brasileira de Cartografia, v. 66, n. 3, p. 569-579, 2014.

SEEBER, G. Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications. Berlin–New York: Walter de Gruyter, 2003.